

水の温まり方の視覚化

— 4つの温度センサを用いて —

佐和田地区理科教育センター 市橋 勝三郎

I はじめに

小学校第4学年では、金属、水、空気の温まり方について学習する。このうち、水、空気は主に対流により温まる。水の温まり方については、細川¹⁾、小山²⁾、奥野³⁾、安部⁴⁾、池田⁵⁾らの研究があり、対流の視覚化、水温変化について報告されている。

しかし、対流と温度変化を同時に観察させるという視点からの報告はない。また、従来は、対流と温度変化を別々に実験させ、その後で両方の現象を関連させて指導することが多かった。これは、小学4年生段階では、対流の観察と温度計測を同時に行いながら思考することが困難であり、同時に行わせる有効な方法がなかったためと考えられる。

そこで、本研究では、4つの温度センサと1台のパソコンを用いて温度変化を自動計測し、ディスプレイに表示させながら、同時に角型水槽内での対流の様子をOHPや墨汁の適下により容易に観察できるように工夫した。その結果、水槽内の4地点の温度変化が一目で分かるようになり、対流の観察と同時に行えるようになった。小学校におけるパソコンの活用という点からも、温度センサを用いた実験は有効であると考ええる。

II 研究内容

1. 装置

(1) 全体図

実験装置の全体を図1に示す。

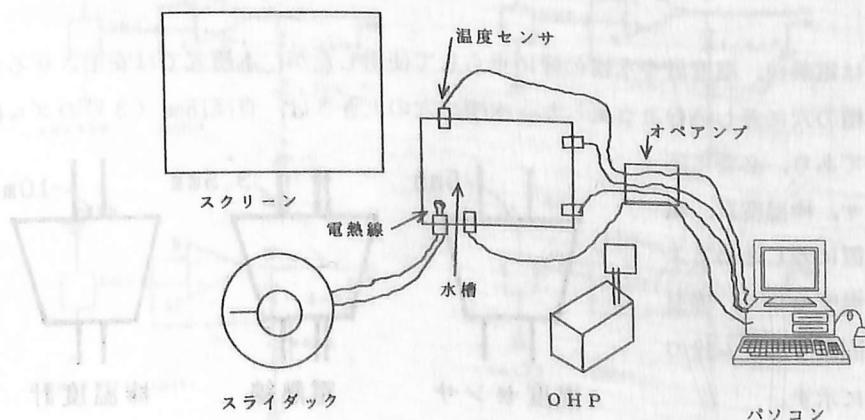


図1 全体図

(2) 容 器

一般に、容器にはビーカーが使用される。しかし、ビーカーは円柱型のため、対流の様子が見えにくい。そこで、アクリル板を用い、角型水槽を作った(図2)。設計図を図3に示す。水槽の大きさは、細川¹⁾、奥野³⁾を参考にし、縦4cm、横16cm、高さ13cmにした。

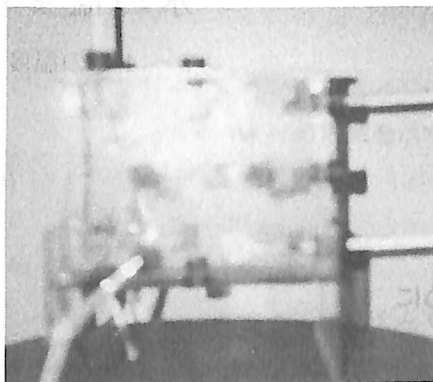


図2 自作角型水栓

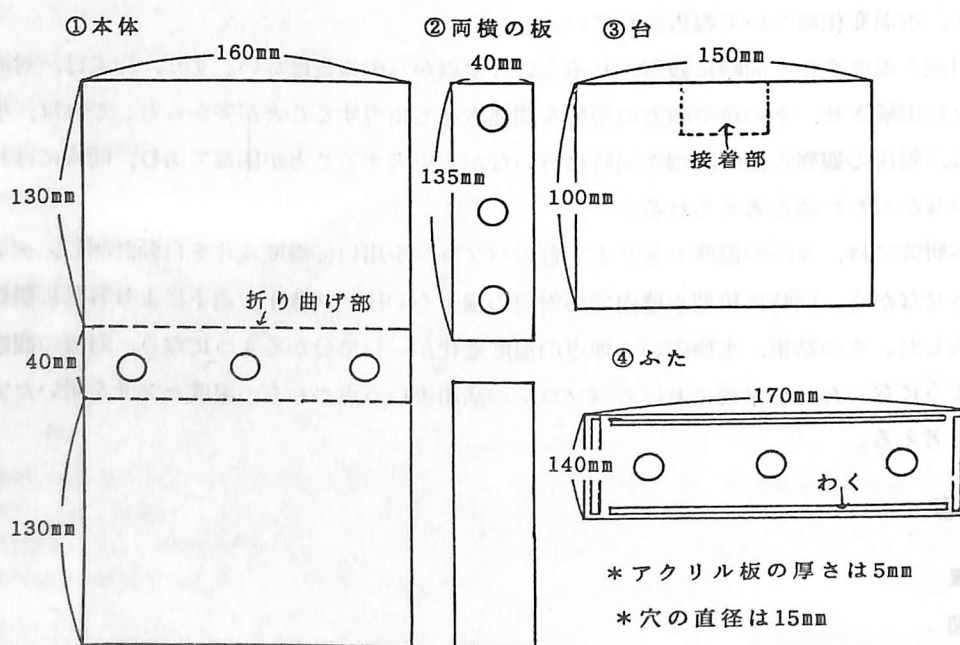


図3 自作角型水槽の設計図

細川、奥野らは電熱線、温度計を水槽の縁に垂らして使用したが、本研究では安定させるため、ゴム栓に固定し、水槽の穴に差し込むようにした。水槽の穴の大きさは、直径15mm(3号のゴム栓に合う大きさ)に統一しており、必要に応じて、温度センサ、棒温度計、電熱線を好きな位置に差し込めるように工夫した。温度センサ、棒温度計、電熱線を固定するゴム栓の見取り図を図4に示す。

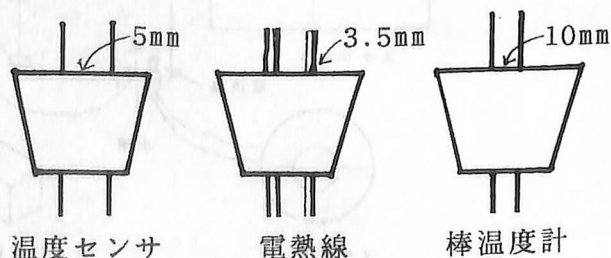


図4 3通りのゴム栓

(3) 加熱器具

一般に、加熱器具にはアルコールランプが使われる。しかし、アルコールランプは、炎が広がり1点を温めにくく、また、熱量も調節しにくい。そこで、スライダックを用い電熱線で加熱するようにした。スライダックならば容易に熱量を調節できるので、加える熱量の大小による水の温まり方の違いを調べることができる。

発熱部は、巻いた状態で長さ 2.5 cm、4.5 Ω の電熱線を圧着子でバンセンに固定し、使用した（図 5）。



図5 発熱部

(4) 温度センサ・オペアンプ・A/Dコンバータ

温度センサはLM324DZ（図6）を用い、文献を参考に図7のような回路を組んだ⁶⁾。この回路を麴沢祐一（県立教育センター）考案のA/Dコンバータ（NADV）につなぎ、パソコンを用いて温度計測をした。NADVは4チャンネル使えるので、温度センサを4つつなげ、4点で測定した。温度センサは水中でも使用できるように、キャップをかけ、先端部を残してシリコン接着剤で固めた（図8）。なお、NADVのチャンネル2は、そのままでは使えないので、図9のように改良した。

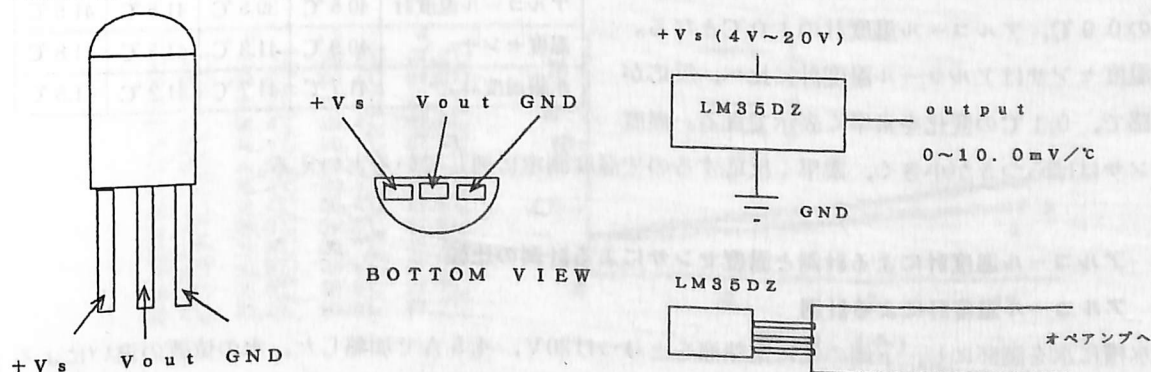


図6 LM324DZの図・端子・リード線

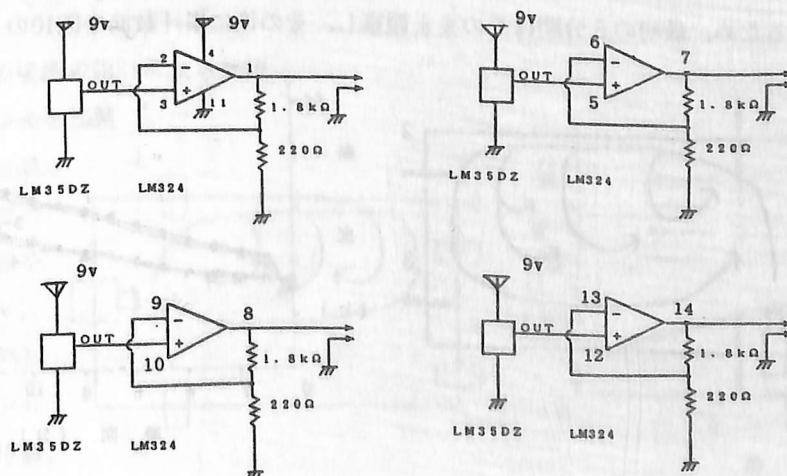


図7 オペアンプ部

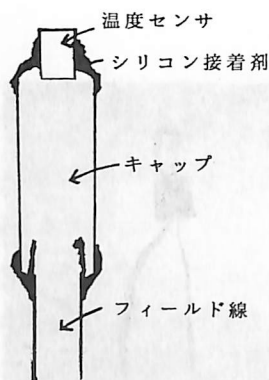


図8 温度センサ部

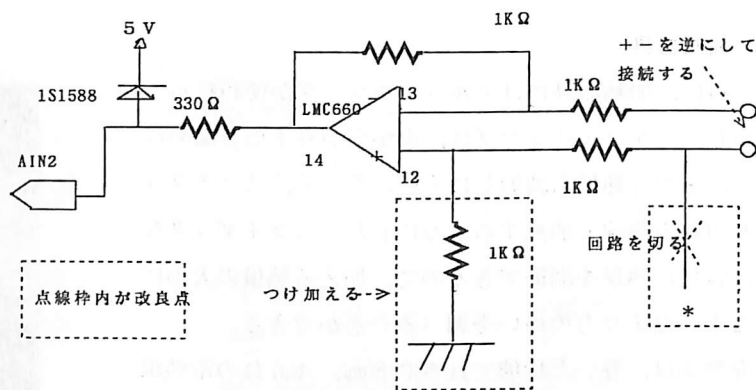


図9 チャンネル2の改良箇所

2. 棒温度計と温度センサのばらつき具合の比較

アルコール温度計、水銀温度計、温度センサの3種類を4本ずつ用いて、お湯の温度測定を行い、ばらつき具合を調べた(表1)。

最もばらつきが小さいのは水銀温度計で、最高値と最低値の差が0.5℃である。次いで温度センサの0.9℃、アルコール温度計の1.0℃となる。

温度センサはアルコール温度計に比べ、反応が敏感で、0.1℃の変化を素早く表示できる。温度センサはばらつきが小さく、素早く反応するので温度測定に適しているといえる。

表1 温度のばらつき具合の比較

	A	B	C	D
アルコール温度計	40.5℃	39.5℃	41.5℃	41.5℃
温度センサ	40.9℃	41.3℃	41.3℃	41.8℃
水銀温度計	41.7℃	41.7℃	41.2℃	41.5℃

3. アルコール温度計による計測と温度センサによる計測の比較

(1) アルコール温度計による計測

水槽に水を満杯にし、下側の端に電熱線を取りつけ20V、4.5Aで加熱した。水の位置の違いによる温まり方を調べるため、温度計を図10の1～4の位置に取り付け、16分間計測した。また、温度変化と同時に対流を確認するため、最初の5分間はそのまま観察し、その後に墨汁数滴を図10の1の位置に落とし、墨汁の流れから対流の方向を判断するようにした。墨汁によって確認された対流の方向を図10中に、パソコンによる温度計測の結果を図11にそれぞれ

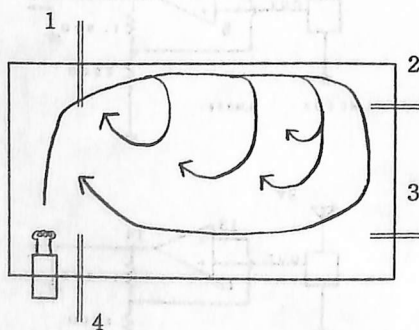


図10 温度計の位置と対流その1

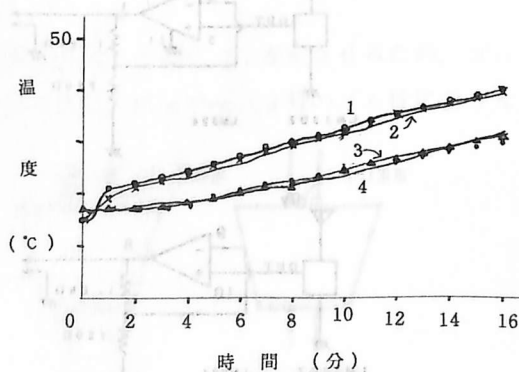


図11 水温の経時変化その1

示す。

(2) 温度センサによる測定

温度計を温度センサに変えた以外は同じ条件で行った。温度センサの取り付け位置、及び水の対流の方向を図12に、16分間の計測の結果を図13に、それぞれ示す。

計測結果、対流の方向とともに、アルコール温度計による計測の場合とほぼ同じ結果である。大きな違いは、温度計の場合、30秒ごとに計測すると休む暇がなく、1の場所の計測と4の場所の計測では20秒近く時間差が生じる（1人で計測の場合）。また、急いで計測するので、小数点1位の読みとりがおろそかになる（読みとりの最中にも温度は上昇する）。これに対し、温度センサは自動で2秒に1回計測するので、対流の様子をじっくり観察できる。また、もやもやがセンサにふれると、ディスプレイ上の数値もすぐ変化し、温まった水が上昇しているのが分かりやすい。

温度センサによる測定の方が便利かつ正確であるといえる。

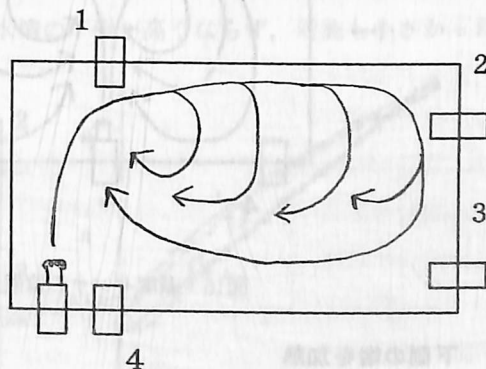


図12 温度センサの位置と対流その2

1	2	3	4
37.4℃	36.2℃	29.0℃	27.2℃
37.6℃	36.2℃	29.4℃	27.3℃
37.7℃	36.2℃	29.4℃	27.3℃
37.8℃	36.4℃	29.4℃	27.4℃
37.8℃	36.4℃	29.3℃	27.5℃
37.9℃	36.5℃	29.4℃	27.5℃
38.1℃	36.4℃	29.4℃	27.4℃
38.1℃	36.5℃	29.6℃	27.6℃
38.2℃	36.6℃	29.6℃	27.6℃
38.2℃	36.6℃	29.7℃	27.7℃
38.3℃	36.8℃	29.8℃	27.7℃
38.3℃	36.8℃	29.8℃	27.7℃
38.4℃	36.9℃	29.9℃	27.8℃

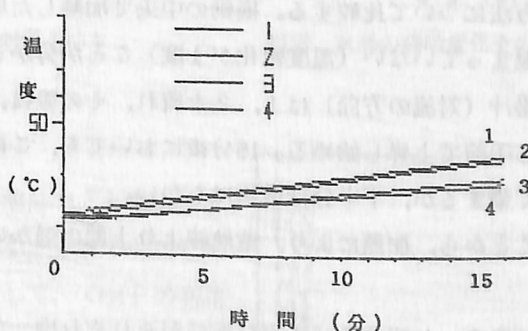


図13 水温の経時変化その2

4. 加熱部の場所の違いによる比較

(1) 横側の中央を加熱

水槽に水を満杯にし、横側の中央に電熱線を取りつけ20V、4.5Aで加熱した。温度センサの取り付け位置、及び対流の方向

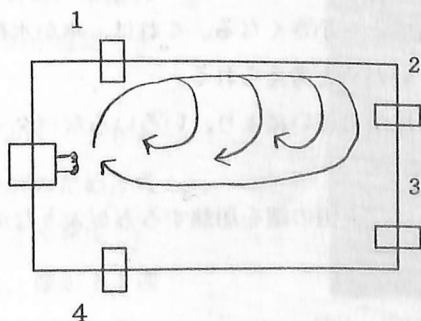


図14 温度センサの位置と対流その3

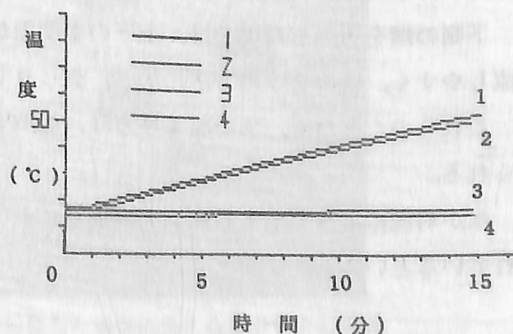


図15 水温の経時変化その3

を図14に、16分間の計測の結果を図15にそれぞれ示す。

(2) 下側の中央を加熱

加熱の場所を変えた以外は同じ条件で行った。温度センサの取り付け位置、及び対流の方向を図16に、16分間の計測の結果を図17にそれぞれ示す。

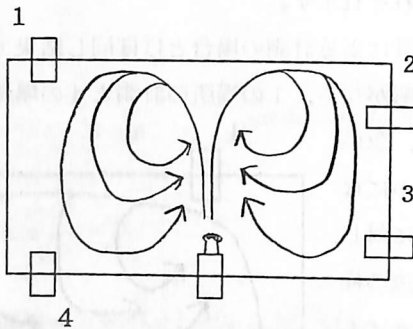


図16 温度センサの位置と対流その4

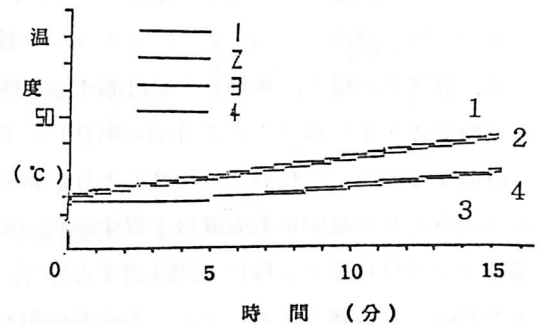


図17 水温の経時変化その4

(3) 下側の端を加熱

3の(2)と同じ。

3通りの方法について比較する。横側の中央で加熱した場合は、電熱線より下部（水槽の下側半分）はほとんど温まっていない（温度変化が1度）ことが分かる。このことは、墨汁の動きからも分かる。すなわち、墨汁（対流の方向）は1、2と流れ、その後は、電熱線の方に引かれるように流れていき、電熱線の少し手前で上昇し始める。16分後においても、このような流れは変わらず、水槽の上半分は墨汁の色で黒く染まるが、下半分は透明にちかい。

これらのことから、加熱により、電熱線より上部の温かい水と下部の冷たい水に分かれたと考えられる。

仮に墨汁で染まった部分及び透明な部分がそれぞれ均一な温度であったとして、得た熱量を計算する。

黒く染まった部分の体積はおよそ、 $2.8 \times 16.6 \times 7.0 = 325.36 \text{ cm}^3$ 。これだけの水が 35.9 度 （ $52.1 - 16.2$ ）温度変化したとすると、得た熱量は $325.36 \times 35.9 = 11680 \text{ cal}$ 。一方、透明な部分の体積はおよそ、 $2.8 \times 16.6 \times 5.5 = 260.28 \text{ cm}^3$ 。1.0度（ $16.1 - 15.1$ ）温度変化したとすると、得た熱量は、 $260.28 \times 1.0 = 260.28 \text{ cal}$ 。熱の伝わり方が40倍ちかく違うと考えられる。

下側の端を加熱した場合は、上下の温度差がもっとも小さくなる。これは、水が水槽の縁を大きく対流しやすく、他の2つの方法に比べ、混じりやすいためと考えられる。

これらのことから、水の温まり方は、加熱する場所の違いにより、いろいろなパターンがあると考えられる。

水が対流によって温まる様子を観察させるならば、下側の端を加熱する方が大きな流れが確認でき優れているといえる。

5. 加える熱量の違いによる比較

水槽に水を満杯にし、下側の端に電熱線を取りつけ40V、9Aで加熱した。アルコール温度計（温度センサは最高温度50℃に設定してあるため使用できなかった）の取り付け位置、及び対流の方向を図18に、8分間の計算の結果を図19にそれぞれ示す。

80度に達するまでの時間を比べると、20V、4.5Aの場合は70分かかったが、40V、9.0Aの場合は、8分と短時間で上昇した。また40V、9.0Aの場合は、8分30秒後にほぼ全体の温度が84度近くにそろい、大きな対流が確認できたが、20V、4.5Aの場合は、水槽の下側が高くならず、対流も小さかった。

これらのことから、水の温まり方は、加える熱量の大きさによりわずかに違いが生じると考えられる。

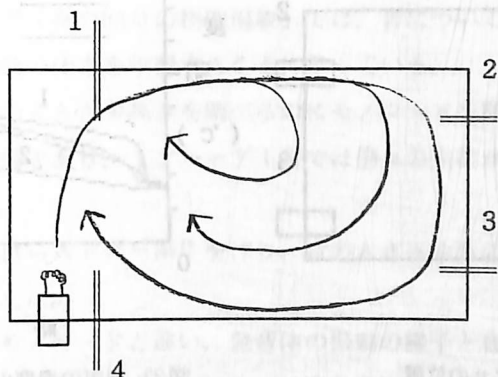


図18 温度計の位置と対流その5

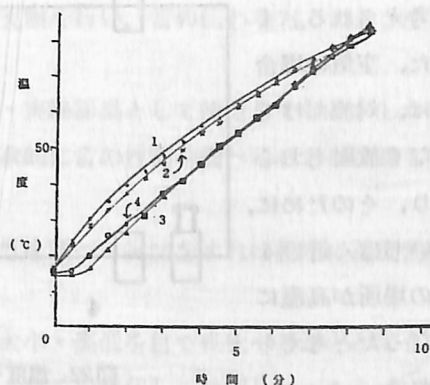


図19 水温の経時変化その5

6. OHPによる拡大

対流の様子は、熱するだけでも図20に示す部分で「もやもや」として観察できる。しかし、全体でみるには小さすぎて利用しにくい。そこで、学級全体で観察できる方法として、OHPの活用が考えられる。

水の対流をOHPに投影した様子を図21に示す。OHPを使うと、「もやもや」がよりはっきり、しかも遠くまでいくことが確認できる。さらに、40V、9.0Aで加熱すると、対流が水槽の下の方まで起こるのが確認できる。

注意点として、40V、9.0Aの場合は、電気分解のためと考えられる泡がたくさん発生し、見にくくなること、像が上下逆になることなどが上げられる。

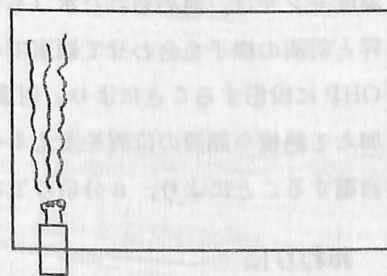


図20 もやもやの見える場所

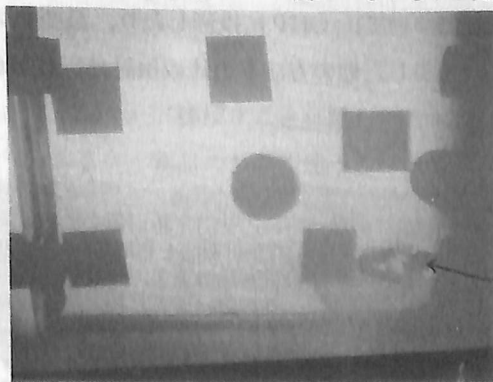


図21 OHPで投影した場合に見えるもやもやの場所

7. 空気の温まり方

水槽に何も入れないで、下側の端に電熱線を取り付け20V、4.5Aで加熱した。温度センサの取り付け位置を図22に、9分間の計測の結果を図23にそれぞれ示す。

空気は、水に比べ、温まるのが速いことが分かる。1の場所が加熱直後急激に温度が上昇すること、4の場所がもっとも高くなることなど、水の場合と温まり方が異なる。これは、空気が水に比べ密度が小さく対流の速度が速いためと考えられる。また、空気の場合は、対流だけでなく放射もおこり、そのために、いちばん近い4の場所が高温になったと考えられる。

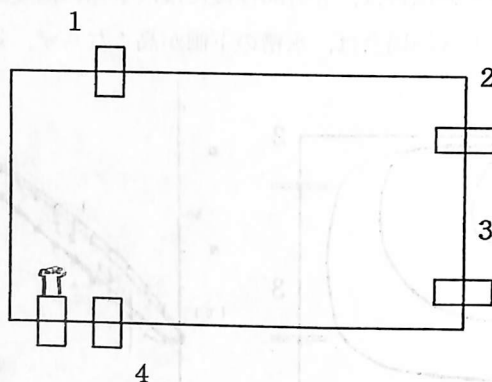


図22 温度センサの位置

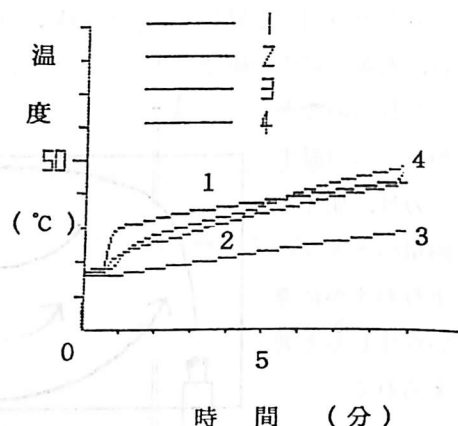


図23 空気の温度の経時変化

Ⅲ まとめ

- 温度センサは、温められた水（もやもや）に敏感に反応する。パソコンが自動計測するので、温度上昇と対流の様子を合わせて観察できる。
- OHPに投影することにより、対流をより大きくはっきりと観察できる。
- 加える熱量や熱源の位置を変えることにより、対流の方向が変化する。スライラックを用い、40Vで通電することにより、8分余りで水槽内の温度がほぼ均一になった。

Ⅳ おわりに

水の温まり方について、OHPに投影したり、温度センサを用いてパソコンに取り込んだりして視覚化をはかった。しかし、他の方法との比較検討は行わなかったため、今後は、他の方法についても検討していきたい。

参考文献

- 1) 細川 勤：水の対流における実験の検討，新潟県立教育センター物理選択研修（1980）
- 2) 小山 彰：ヨウ素デンプン反応の熱可逆性を利用した対流現象の視覚化，新潟県立教育センター物理選択研修（1981）
- 3) 奥野正春：対流がよく見える実験器具の工夫，新潟県立教育センター初等理科選択研修（1986）
- 4) 安部範之：水の温まり方を調べる水槽の工夫，新潟県立教育センター初等理科選択研修（1987）
- 5) 池田清治：水の対流現象と温度変化，新潟県立教育センター物理選択研修（1991）
- 6) 新潟県立教育センター：平成4年度高等学校理科基礎講座テキスト（1992）
- 7) 新潟県立教育センター：平成3年度高等学校理科基礎講座テキスト（1991）
- 8) 山田盛夫：BASIC制御によるパソコン物理計測入門，共立出版株式会社（1991）
- 9) N E C：N88BASIC(86)（Ver 6.1）入門（1990）
- 10) N E C：N88BASIC(86)（Ver 6.1）リファレンスマニュアル（1990）